

国土館大学地理学教室における リモートセンシング教育について - その2 -

長谷川均¹⁾，後藤智哉²⁾，藤田泰文³⁾

本稿に掲載した図表の原図はカラーである。内容はカラー図版でないと理解しがたい部分がある。国土館大学図書館のWebページに掲載予定のpdf版、地理学教室WebページのHTML版をご参照いただきたい。

http://libw01.kokushikan.ac.jp/data/003313/main/0386_5118_39a.pdf

<http://bungakubu.kokushikan.ac.jp/chiri/GISroom/06GisRsROOM.htm>

はじめに

本稿の筆者のうち長谷川は、この10年間に「文学部地理学専攻学生に対するリモートセンシング教育」などのタイトルで、地理学教室で始めたリモートセンシング教育の成果を報告した（長谷川，1995，2000）。その中で述べたように、本専攻は地理学科（地理学専攻）としては、日本で最も早い時期（1984年開設，87年開講）にリモートセンシング教育を開始し、講義開設直後からパソコン（以下PC）を使った実習を実施してきた。そして、その後は地理情報システム（GIS）教育にも力を入れ、これに関しても当初から理論と実習を伴った講義を組み立ててきた（長谷川，2003c）。リモートセンシングやGISの設備、ソフトウェアの購入には、専攻や学内の予算の他に積極的に外部の資金も獲得して拡充をはかった。これらの成果は、教員が出版した教科書や論文，研究報告（長谷川，1998a，b，2004），大学院生の研究論文（後藤，2003，2004，2006a，b）などのかたちで公表し、学外からも一定の評価を得ているものと思われる。また、リモートセンシングや地理情報システムの関連業種への学生の就職という効果をもたらしている。

ところで、こんにちでは国土館大学をはじめとして多くの地理学科（地理学専攻）において、何らかのかたちで「リモートセンシング」の講義が行われている。しかし、その内容や教育方法は各大学のシラバスをみてもさまざまな形態がとられている。そのなかで、グランドトゥールース，結果の検証まで含めた，室内分析から野外調査までの一貫した実践教育例は，本学を含めてほとんど実施されていないようである。そこには，授業時間数の制約，ソフトウェアの操作を習得した上でなければ解析作業まで進めないとか，分光測定装置が非常に高価だといった事情もあると思われる。今回は，野外実習という授業を利用したグランドトゥールース実習を行う機会に恵まれたので，本稿では野外実習の結果を反映させたリモー

1) 地理・環境専攻教授

2) 大学院人文科学専攻博士課程在学

3) 大学院人文科学専攻修士課程在学

トセンシング教育の試みを紹介することにした。

・新カリキュラムでのリモートセンシング教育

国土館大学文学部地理学専攻は2004年度から名称を地理・環境専攻と名称を変更し、それに先立つ2003年度からカリキュラムを一新した。そのさい、旧「リモートセンシング」(通年、4単位)は、「環境リモートセンシング」、「環境リモートセンシング応用」(いずれも半期、2単位)に変更された。これらの科目では、春期の「環境リモートセンシング」で、講義を中心としたリモートセンシングの基礎的な理論を学び、秋期の「環境リモートセンシング応用」で世界のさまざまな地域を対象に、一人セットのシステムを利用して、リモートセンシング解析ソフトウェアを使った実習を行っている。従来は日本製の「OM-SAT」を使用していた(長谷川・(株) 沢瀉電子, 1996)。しかし、新しい衛星データのフォーマットに対応できなくなったなどの理由で、現在は「MultiSpec (Multispectral Image Data Analysis System)」という米国パデュー大学がNASAなどの援助で開発したフリーウェアを使用している。また、衛星データに関しては、地理学教室の予算、長谷川の科研費などで購入したものの他に、米国のメリーランド大学にある衛星データアーカイブ(Global Land Cover Facility; 長谷川, 2003a, 2003b) から研究用にダウンロードしたデータを使用している。

GLCFなどの研究者向けの衛星データアーカイブは、教育用データの検索、取得先として非常に有用である。しかし、存在するデータが限られるため希望する日時のデータが必ずしも存在するわけではない。また、グランドトゥールースに同期した衛星データ取得のリクエストなどは不可能であるから、後述するように現地で分光反射特性の測定実習などをおこなっても、測定値の利活用や測定値を反映させた解析実習などはほとんどできない。

なお、解析ソフトであるMultiSpecの概要を、配布元のパデュー大学(<http://cobweb.ecn.purdue.edu/%7Ebiehl/MultiSpec/>)と、農林水産研究情報センターのホームページ(<http://www.affrc.go.jp/satellite/MultiSpec/index.html>)の記載からまとめると次のようになる。

- 1) MultiSpec は、地球観測衛星ランドサット・シリーズの多重分光画像やAVIRISのような航空機や人工衛星で得られる高分光解像度の画像を、現在から将来にも利用できるインタ-ラクティブに解析する処理システムである。
- 2) MultiSpec の開発と配布の目的は、研究・開発した成果の普及である。このシステムは、リモートセンシング画像の解析の他に医療用画像の解析や小・中・高校、大学の教育活動にも極めて有用である。すでに、世界中で数千以上の登録されたユーザが存在する。
- 3) MultiSpec の設計目標は以下の通りである。
 - ・このシステムは、適切なパワーをもつ低価格なパソコンで利用できること。
 - ・このシステムは、最近のソフトウェア環境(MacOS, Windows)を利用し

て、利用頻度の少ないユーザでも容易に学習・利用が可能であること。

- ・このシステムは、種々な形式のデータを入力でき、また分類結果を主題図や表形式で出力し、その他のシステムにエクスポートが可能であること。
- ・解析機能には、多重分光画像を利用した、土地被覆分類機能、教師つき分類、教師なし分類、主成分分析、統計量算出、特徴抽出と特徴選択、主題図作成などのほか、高分光解像度画像解析の機能が付加されること。

このように MultiSpec は、画像解析の基本的な機能をほぼ網羅してはいるが、地図投影変換、幾何補正などの機能が無い。市販ソフトとの軋轢を避けるためにこれらの機能を搭載していないともいわれている。しかし、これらの機能は分類結果の検証や画像の地図化などには必要である。そのため、本稿をまとめる際には学生用パソコンにインストール済みで、「地理情報システム」などの講義で使用している ArcGIS というソフトを使って補うことにした。なお今回は、幾何補正の一部の過程で作業効率を考慮して ERDAS IMAGINE も使用したが、この作業は ArcGIS で代替可能である。

・ 地理学野外実習 C での「リモートセンシング現地調査」

本稿は冒頭でふれた長谷川（1995）の続編とし、その後の10年間の成果と、2005年10月に実施した学部3年生の「地理学野外実習 C」という実習授業でのグラントゥールス実習での成果をまとめたものである。なお、本稿で報告する分析に関しては、前述のように「MultiSpec」を使用した。教員や大学院生の研究用としては、これより機能の多いソフトウェア（ERDAS IMAGINE、PG-STEAMER など）を使用しているが、本稿では実際の講義で行った内容の報告であり、限られた機能を使った解析の実例を紹介するという意味も持っている。なお、ここで紹介する実習、解析の流れは下記の通りである。

- 1) 現地調査の前に Landsat データを使い、解析ソフトウェアの「教師なし分類」機能で土地被覆分類をおこなう。
- 2) 分類されたグループに関して現地で実際の土地被覆を確認する。この際、GPS（Global Positioning System）の実習もかねた野外調査を実施する。
- 3) これと並行して、分光反射測定を実施し土地被覆の違いによる反射特性を学ばせる。
- 4) 分光反射特性結果と現地調査の結果をもとに、土地被覆調査にフィードバックさせ「教師付き分類」を行う。ただし、今回は主に現地実習の時間的な制約があった。
- 5) 結果の検証を行う。

また本稿は、長谷川、後藤、藤田の共著としたが、それぞれの分担は下記の通りである。

- 1) 実習計画の立案と全体の構成、執筆；長谷川均
- 2) 野外実習の指導；長谷川均，後藤智哉
- 3) 前処理とグランドトゥールズデータの収集；2005年長谷川ゼミ3年生リモートセンシング班（赤岩大地，坪田淳平，中嶋脩夫，兼光宏知，正村翔，池田彰人）
- 4) 実習成果のとりまとめと執筆；長谷川均，後藤智哉，藤田泰文

なお，解析処理や野外実習の成果に関しては，学部学生が分析した成果を大学院生が検証し（後藤（第 章），藤田（第 章）），長谷川とともにとりまとめを行った。

対象地域と解析データ

対象地域は，福島県会津田島町西部地域（調査後の2006年3月に田島町・館岩村・伊南村・南郷村が合併し南会津町となった）で，1/25,000地形図「針生」図幅に含まれる。この地域は，福島県の南西部に位置し阿賀川水系の桧沢川が西から東へ流れ，この河川に沿って低地が形成されているものの，大部分が山地からなっている（図1）。

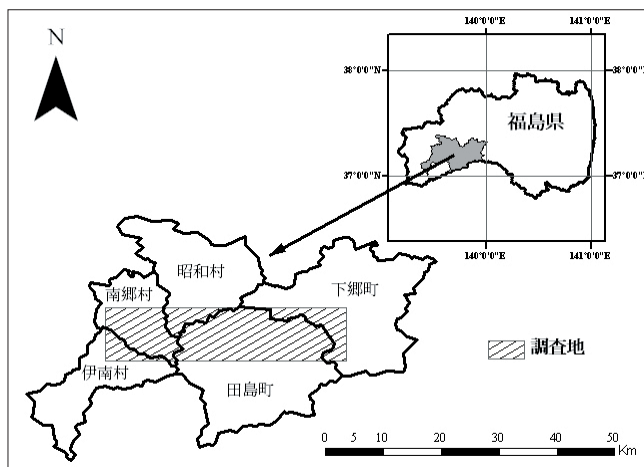


図1 調査地域

調査範囲の北西部分には，駒止湿原が存在する。この湿原は，ブナ林に囲まれた標高1100m付近にあり，大小十以上の湿原が面積約150haの範囲に分布している。現地調査は，この湿原でも実施した。調査は正味二日間にわたったが，その大部分は「針生」図幅内の中山間地域を中心におこなった。現地調査では，GPSを使い，調査前に作成した教師なし分類のカテゴリーが現地の土地被覆の何に対応するのかをチェックするとともに，代表的な植生や土地被覆物の分光反射率を測定した。なお，代表的な植物についてはサンプルを採取し，暗室状態にした室内でも分光反射特性を測定した。分光反射測定には，ASD社製社製近赤外分光

放射計「Field Spec Pro」を使用した。

事前の解析，実習後の検証などに際して使用した衛星データ，標高モデル，植生データなどは表 1 のとおりである。

表 1 解析に使用したデータ

衛星データ
LANDSAT TM+ 2001 年 9 月 24 日撮像、Global Land Cover Facility より入手
標高モデル
数値地図 50m メッシュ (標高)、世界測地系対応、国土地理院発行、2001 年
植生データ
「日本植生誌 東北」、宮脇昭編集、至文堂、1987 年
自然環境 GIS、CD-ROM 第二版、環境庁自然保護局生物多様性センター、1999 年

前処理

1. 紙地図のデジタル化

衛星データをもとに土地被覆分類をおこなうという一連の作業のうち，教師なし分類と教師付き分類（分類方法は 4 章にて記載する）をおこなったが，後者に関しては表 1 に示した二種類の植生データを使用した。

紙地図である宮脇昭編集「日本植生誌 東北」は，グラフィック社製 A 0 版カラーキャナ（CS500-11eN-PRO）を使用し，解像度 600dpi でカラーキャンをおこないデジタル化した。しかし，紙地図からデジタル化した植生図は，そのままでは位置情報を持っていないため幾何補正が必要となる。幾何補正作業は，前述の理由で ERDAS IMAGINE を使用した。幾何補正は一次多項式を利用し，衛星画像を参照画像として植生図を幾何補正し，2 万 5 千分の 1 の図幅「田島」「針生」「会津山口」周辺を切り出した。

切り出した現存植生図は，ArcGIS でデジタイズしベクター化をおこなった。調査地域に含まれる凡例の数は，11 種類である（表 2）。

表 2 紙地図「日本植生誌 東北」を教師とする場合の凡例の設定

Legende、凡例 1：宮脇昭編集、「日本植生誌 東北」の番号と凡例（調査地域内に存在する物のみ）

Legend	凡例 1	Area(m ²)	Hectares(ha)
6	ヒメアオキブナ群集、マルバマンサクブナ群集	61378610.56	6137.86
26	オオシラビン群集、ヒノキアスナローコマツガ群集	611920.38	61.19
34	クリーコナラ群集、オクチョウジザクラコナラ群集	6692267.39	669.23
35	クリーミズナラ群集	157874404.27	15787.44
37	スギ・ヒノキ植林	21040053.87	2104.01
41	ノハナショウブススキ群集、アズマギクシバ群集	1963651.97	196.37
42	グラノキークマイチゴ群集（伐採跡地群落）	966827.51	96.68
43	カラスビシャクーニシキソウ群集、ナギナタコウジューハチジョウナ群集（畑地雑草群落）	10226496.47	1022.65
45	ウリカワーコナギ群集、サジオモダガ群集（水田雑草群落）	38286320.77	3828.63
47	カラマツ植林	24141809.13	2414.18
49	市街地	1450512.82	145.05

当初この現存植生図を教師として使用し、衛星データを分類する予定であったが、図2に示すように植生図と衛星画像に分類カテゴリーの大きな相違が生じた。例えば衛星画像の判読で市街地と推測される場所が、植生図では水田雑草群落と表されていた。この理由は、デジタル化した植生図の元図が1/50万という小縮尺の地図であり、衛星データの空間分解能（28.5m）におよばず、位置に大きなズレが生じたものと判断した。この段階で、1/50万の「日本植生誌 東北」は、Landsat データの参照データ（「教師」）としては不適切であることが明らかになった。

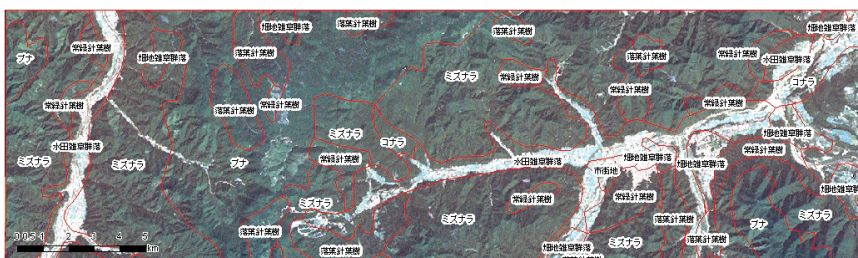


図2 トゥルカラー画像と宮脇昭編集「日本植生誌 東北」の比較

両者のスケールが異なるため、オーバーラップさせると植生図と衛星画像に分類カテゴリーの大きな相違が生じた。

2. 「自然環境情報 GIS」データの調製

デジタル化した紙地図は、元図の縮尺が小さいため位置の誤差が大きい。そこで環境庁自然保護局が提供している「自然環境情報GIS」のデータを教師として、衛星データの分類をおこなうことにした。

自然環境情報GISデータは、自然環境保全基礎調査（一般に「緑の国勢調査」と呼ばれている）の調査結果を、報告書と地図にとりまとめたうえで公表されているものである。これらは、自然環境の基礎資料として、自然公園等の指定・計画をはじめとする自然保護行政のほか、各種地域計画や環境調査で活用されている。このデータは、1/2.5万地形図の図幅単位でデータ化され GIS データとして公開されている

今回使用したものは、1978年から1998年（第2～5回植生調査）に実施された植生調査結果のポリゴンデータである。このデータと全国の標準地域メッシュ（2次メッシュ（約10km四方））を使用することにした。データはArcGISに取り込み、前述のような座標変換をおこなった。もとのデータは、福島県全域であったため、1/2.5万地形図「田島」「針生」「会津山口」図幅の範囲を切り出した（図2～5）。

データはCD-RやDVD-Rなどのメディアでも入手可能だが、2006年3月から環境省生物多様センターウェブページより、全都道府県のデータがダウンロード可能となった（http://www.biodic.go.jp/kiso/gisddl/gisddl_f.html）。このデータは、

図形ファイルが ESRI シェープファイル形式、属性ファイルが CSV ファイル形式となっており、座標系は世界測地系の10進緯度・経度で管理されている。

また、土地被覆分類をおこなう衛星データは、米国メリーランド大学の GLCF よりダウンロードした Landsat ETM+ データである (表 1)。このデータの座標系は、世界測地系・UTM 投影であったため、自然環境情報 GIS データをこの測地系と投影方法に変換して使用した。

・ 土地被覆分類とグランドトゥールース

1. 教師なし分類

クラスター分析に代表される教師なし分類とは、グランドトゥールースデータ (現地調査データ) を用いない分類であり、衛星データの画像DN値の分布状態から分類に必要なクラスごとの特徴量を抽出するものである (大林・小島, 2002)。まず、前処理を行った Landsat ETM+ データ (2001年9月24日, Path-107, Low-34) を用いて、バンド 1 ~ 7 による 5 クラスと 10 クラスの二通りの教師なし分類を ISODATA 法で行った。ISODATA 法は、初期条件として適当な数の分類クラスを与え、そのカテゴリーをクラス間で組み替えることにより、分離度の高いクラスターを求めていく方法である (ESRI ジャパン, 2006)。

なお、教師なし分類は、各バンドごとのピクセル値 (DN値) から分類したクラスの類似性を抽出するため、分類したクラスには何の意味付けもないという特徴をもっている。この特徴を利用して、分類結果を現地調査前の予察的な土地被覆分類図として使用した。教師なし分類の結果が、図 3 と図 4 である。

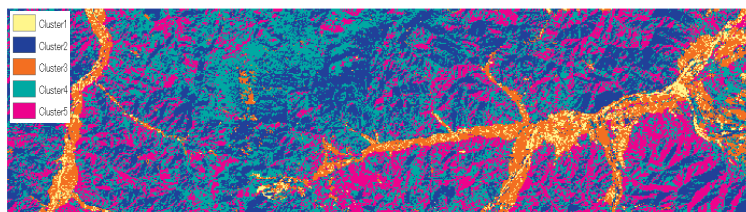


図 3 5 Class に設定した教師なし分類の結果

画像の範囲は図 2 に同じ

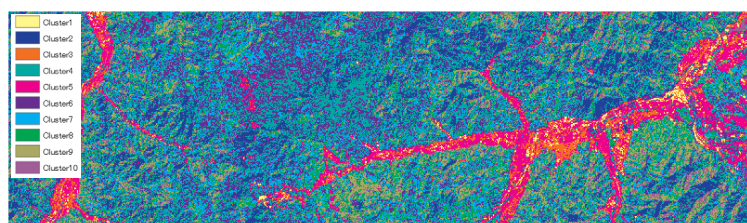


図 4 10 Class に設定した教師なし分類の結果

画像の範囲は図 2 に同じ

2. 教師付き分類

教師付き分類は、グランドトゥルースや既存のデータ（最新の空中写真、植生図、その他の主題図など）を用いて、前もって用意した各分類項目の特性を求め、これを参照データ（教師）として統計的に分類する手法である。この方法では、教師となるデータの精度とトレーニングエリアの選定によって、分類精度が大きく左右される（長谷川，1998）。本研究では、教師として前述した自然環境GISを使用した。また、国土地理院発行の地形図（1/2.5万）の土地分類の記載事項を参考データとした。本来であれば、GPSで測位したグランドトゥルースデータを使用すべきであるが、今回は植生の知識に乏しい学部が植物図鑑を頼りに調査し、しかも調査範囲が限られているため、調査範囲を網羅している自然環境保全基礎調査の成果を参照データとして使用することにした。ただ、このデータも隣接する図幅の境界部分で植生界が繋がらないといった矛盾、調製の不具合が存在し、必ずしも正確でない部分も見受けられる。

分類作業では、衛星データからナチュラルカラー、トゥルーカラー、フォールスカラーなど、バンドと色の組み合わせの異なる複数のカラー合成画像を作成し、目視による植生の判読を行った。それと同時に、カラー合成画像と自然環境GISと照合することにより、分類項目を設定した。植生以外の地域（たとえば市街地など人工構造物が見られる地域）に関しても同様の手法により、分類項目を設定した。このようにして設定した分類項目が表3である。

表3 分類項目の設定

自然環境GISの凡例をもとに、分類項目をレベルⅠ～Ⅲに集約した。

レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ	自然環境GIS 凡例
林地	落葉樹林	広葉樹林	チシマザサ・ブナ群団
			ブナ・ミズナラ群落
			クリ・ミズナラ群落
			ミズナラ・カシワ・コナラ群落
			カスミザクラ・コナラ群落
			ジュウモンジ・シダー・サワグルミ群集
			ハンノキ・ヤチダモ群集
			ヤナギ高木群落
			自然低木群落
			IX疎群落
	常緑樹林	針葉樹林	落葉針葉樹植林
			クロバレーヒメコマツ群落
			アカマツ群落
			常緑針葉樹植林
農草地	水田雑草群落	水田雑草群落	ツルコケモモ・ミズゴケクラス
			スマガヤオ・オーダー
	畑地雑草群落	畑地雑草群落	ヨシクラス
			水田雑草群落
			自然雑草
			ササ草原
			ススキ群団
			自然裸地
			畑地雑草群落
			落葉果樹園
			桑園
			牧草地
			牧草地、ゴルフ場
建造物	建造物	建造物	市街地
			緑の多い住宅地
			工場地帯
			造成地
水域	水域	水域	開放水域
影(日陰・斜面)	影(日陰・斜面)	影(日陰・斜面)	



図5 伐採群落

撮影地：旧会津田島町針生昼滝山地区。伐採後に遷移が進行し、ミズナラ・ハシバミなどが侵入している。

Landsat ETM+ センサの空間分解能は、バンド1～5，7が28.5m，バンド6が60m，バンド8が15mである。分類にはバンド1～5，7の6つの波長帯のデータを使用した。現地で単一の被覆物の占める面積を観察すると、大部分のピクセル（28.5×28.5mのサイズ）に異なる土地被覆が混在することが予想された。このようなケースでは、ミクセル（mixed pixel）の問題が生じ分類精度が低下す

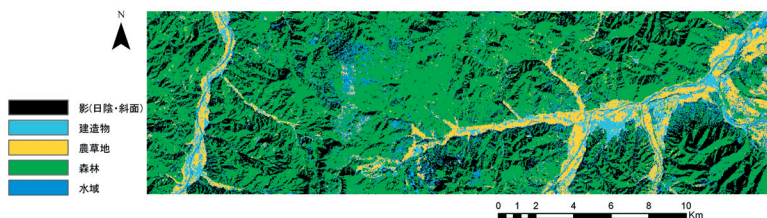


図6 教師付き分類結果（レベル ）

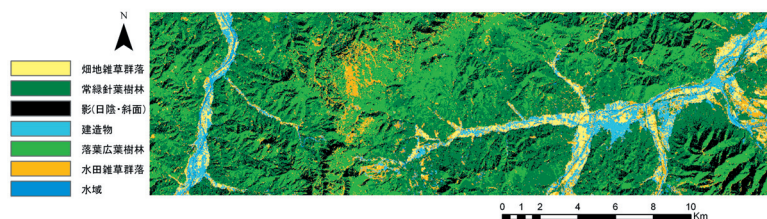


図7 教師付き分類結果（レベル ）

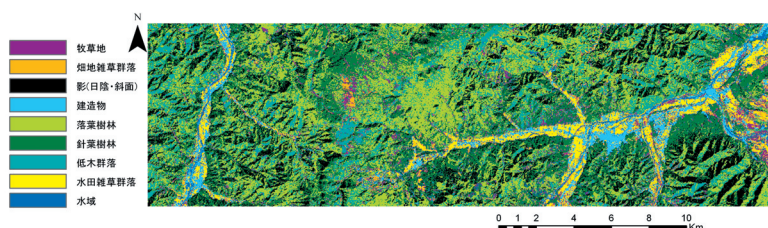


図8 教師付き分類結果（レベル）

ることが知られている（長谷川，1998）。そして，このことから，分類項目が多いほど分類精度は悪くなる（誤分類が増える）傾向にある。表3では，自然環境GISの凡例をもとに，分類項目をレベル～に集約したが，これは，このミクセルの問題を軽減する目的もある。さらに，今回のような空間分解能，波長分解能をもつ衛星データの，中山間地域における分類項目として適切なものを探するという意味もあり，複数のレベルに分けて比較することにした。

なお，自然環境GISの凡例には，林地を伐採した後に成立する伐採群落という項目がある。自然環境GISによれば，調査地域内にも伐採群落が存在するが，実際に踏査したところ伐採群落は草地ではなく，遷移が進行してミズナラ・ハシバミなどが成立する低木群落と変化していた（図5）。そこで，伐採群落は低木群落として分類を行った。

実際の作業では，各レベルの各分類項目を自然環境GISのベクターデータに反映させ，それに先のカラー合成画像とをオーバーレイさせることにより，トレーニングエリアを設定し，教師付き分類を試みた。ベクターデータの編集には，「ArcGIS」を使用した。分類結果を図6～8に示す。なお，分類結果の検証に関しては第4章で考察する。

3. 分光反射特性

グラントゥルースの一環として土地被覆物の分光反射特性を測定した。現地で測定した植物や岩石，土壌，人工構造物などの分光反射特性と衛星データがどのように対応しているか，各波長帯で比較をおこなうことが目的である。

土地被覆物の分光反射特性は，ASD社製の「FieldSPEC PRO」で測定した。植物を中心に20種類の被覆物を測定したが，Landsat衛星データの空間・波長分解能を考慮し比較には広葉樹，針葉樹，イネ科草本の3つを選択した。また，野外で測定した値と暗室で測定した値のうち，ここでは後者を使って比較することにした。なお，FieldSPEC PROは，1nmという細かい波長帯で連続的に計測を行う。これに対し，Landsat ETM+データは450nm～1250nm（0.45～12.5μm）の間を，可視光線領域から熱赤外線領域までを8バンドに分けて測定している。また，それぞれの測定領域はすべてのバンドで途切れることなく連続しているわけではなく，1バンドあたりの波長分解能は最小でも8nm程度となっている。

このような理由で、二つの測定データ間の精度には大きな開きが生じてくる。本研究では、Landsatの1つのバンドを示す波長帯において、現地計測で得られたデータ（反射率）を平均して比較を行った。なお、衛星データのDN値を分光反射率に変換するため、まず下式により放射輝度を算出し、その後に分光反射率を算出した。変換式などを以下に示す。

$$\text{Radiance(放射輝度)} = ((\text{Lmax}-\text{Lmin})/(\text{QCALmax}-\text{Qcalmin})) \times (\text{QCAL}-\text{QCALmin}) + \text{Lmin}$$

ここで、

QCALmin = 1 (DN値の最小値), QCALmax = 255 (DN値の最大値)

QCAL = DN (DN値(データ値)), Lmax (センサで検出可能な最大放射輝度)

Lmin (センサで検出可能な最小放射輝度) * すべてMETADATAを参照

次に放射輝度から分光反射率を求めた。変換式 (NASA, 1998 : 川村, 2004) を以下に示す。

$$\rho = \frac{L \cdot d^2}{\text{ESUN} \cdot \cos \theta_s}$$

ここで、

ρ = 反射率 (Reflectance), L = 放射輝度 (Radiance)

d = 地心太陽距離(天文単位) 経緯度より算出

ESUN = Mean solar exoatmospheric irradiances

表4による(使用したバンドの平均値)。

θ_s = 太陽高度

METADATA参照

このようにして算出した結果を、図9に示した。現地計測結果と衛星データの分光反射特性を比較すると、バンド1で衛星データの値が大きくなるが、その他のバンドではバンド4と5で衛星データの分光反射率が低くなるほか、バンド2においてイネ科草本が示した分光反射率に差が見られる。この原因としては、現地計測と衛星データの受信日時に4年という時間の開きがあり比較するための条件が大きく異なること(たとえば大気中における光の拡散条件が異なる)などが理由としてあげられよう。

データにかなり大きな開きが生じたため、これらの測定値は参考資料として使用するにとどめ、分類に反映させることはできなかった。

表4 ETM+ Solar Spectral radiances

Band	watts/(meter squared* μm)
1	1969.00
2	1840.00
3	1551.00
4	1044.00
5	255.70
7	82.07
8	1368.00

NASA(1998) ; Landsat7 Handbookによる

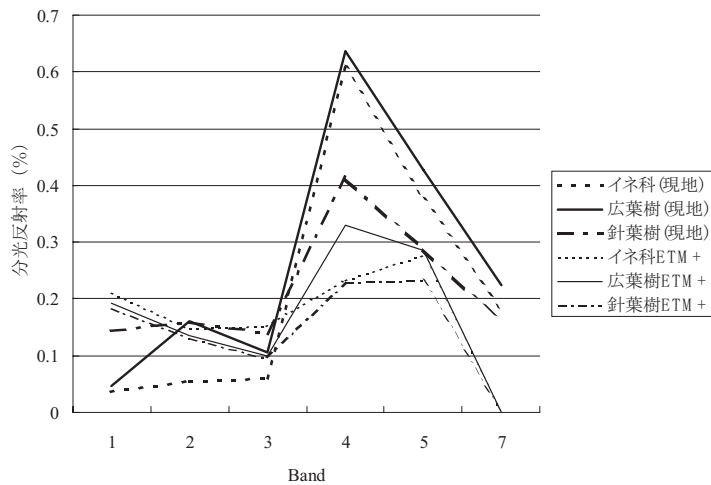


図9 現地計測結果とLANDSAT ETM+の分光反射率の比較

分類精度の検証

教師付き分類の結果が、どの程度の精度で分類できたのか検証を試みた。分類精度の検証は、本来ならグランドトゥルース結果を中心におこなうべきである。しかし、今回は正味二日間の野外調査しか実施できず、検証のためのデータ取得には不十分であった。そこで、野外調査の結果とともに、今回は参照データとした自然環境GISとの整合性を検証することにした。

まず、図6～7のlevel 1～level 3の3種類の分類結果を、ラスターデータとしてArcGISに読み込んだ。同じように教師付き分類に使用した各level(表3)の自然環境GISのデータの読み込みを行った。この際、自然環境GISはベクターデータであるので、これをLandsatの空間解像度にあわせた1ピクセル28mのラスターデータに変換して読み込んだ(図10)。

次に参照データと分析結果について、各分類項目を数字(1～)に置き換え、ラスター演算(ArcGISのSpatial Analyst機能を使ったラスター演算)を行った(図11)。分類項目を数字に置き換え演算をおこなうことにより、参照データと分類結果の間で変化なし(同じ項目になった=正しく分類された)の部分は、たとえば「11, 22, 33, 44, 55, 66, 77」のようになり、参照データと分類結果が異なり正しく分類されなかったピクセルでは、異なった数字になる。結果として図に表現する際には、これを色に置き換えて表示した(図12)このようにして検証した結果を図13～15に示す。黒い部分が正しく分類できた場所、黄色が誤って分類してしまった場所を示している。また、本稿では、自然環境GISにはない「斜面の日陰」という分類項目を設けた。その関係で、ラスター演算で算出された数字(項目)の意味が異なっている。なお臼田(2002)は、これと同様の方法で土地

表5 分類精度 レベルⅠ

項目	RS ピクセル数	GIS ピクセル数	精度(%)
林地	219535	262223	84
建造物	4019	6887	58
農草地	25425	59912	42
水域	1040	3002	35
計	250019	332024	75

表6 分類精度 レベルⅡ

項目	RS ピクセル数	GIS ピクセル数	精度(%)
落葉樹林	100165	261200	38
常緑樹林	26981	39586	68
水田雑草群落	3714	24184	15
畑地雑草群落	4450	34469	13
建造物	4279	6779	63
水域	834	3058	27
計	140423	369276	38

表7 分類精度 レベルⅢ

項目	RS ピクセル数	GIS ピクセル数	精度(%)
広葉樹林	10477	182750	6
針葉樹林	26309	54014	49
低木群落	10477	55077	19
水田雑草群落	11375	24059	47
畑地雑草群落	3349	32554	10
牧草地	173	1527	11
建造物	3732	6742	55
水域	1130	3046	37
計	67022	359769	19

表8 誤分類項目の詳細 レベルⅠ

項目	ピクセル数	割合(%)
林地→建造	4006	6.3
林地→農草	8059	12.6
林地→水域	18628	29.1
建造→林地	420	0.7
建造→農草	1558	2.4
建造→水域	374	0.6
水域→林地	101	0.2
水域→建造	967	1.5
水域→農草	765	1.2
農草→林地	12036	18.8
農草→建造	9716	15.2
農草→水域	7409	11.6
計	64039	100

例：林地→建造（林地から建造物に誤分類）

表9 誤分類項目の詳細 レベルⅡ

項目	ピクセル数	割合(%)
落葉→常緑	131309	67.87
落葉→水田	14208	7.34
落葉→畑地	1407	0.73
落葉→建造	1691	0.87
落葉→水域	2026	1.05
常緑→落葉	6737	3.48
常緑→水田	2194	1.13
常緑→畑地	615	0.32
常緑→建造	755	0.39
常緑→水域	703	0.36
水田→落葉	406	0.21
水田→常緑	2001	1.03
水田→畑地	9810	5.07
水田→建造	6093	3.15
水田→水域	1332	0.69
建造→落葉	121	0.06
建造→常緑	513	0.27
建造→水田	6093	3.15
建造→水域	404	0.21
水域→常緑	228	0.12
水域→落葉	16	0.01
水域→水田	1332	0.69
水域→畑地	2285	1.18
水域→建造	1192	0.62
計	193471	100

例：林地→建造（林地から建造物に誤分類）

表10 誤分類項目の詳細 レベルⅢ

項目	ピクセル数	割合(%)
広葉→針葉	14731	8.6
広葉→低木	30931	18.0
広葉→水田	1060	0.6
広葉→畑地	1634	1.0
広葉→牧草	6152	3.6
広葉→建造	800	0.5
広葉→水域	2917	1.7
針葉→広葉	13553	7.9
針葉→低木	4734	2.8
針葉→水田	746	0.4
針葉→畑地	984	0.6
針葉→牧草	3287	1.9
針葉→建造	874	0.5
針葉→水域	2241	1.3
低木→広葉	21339	12.4
低木→針葉	14731	8.6
低木→水田	263	0.2
低木→畑地	403	0.2
低木→牧草	2616	1.5
低木→建造	193	0.1
低木→水域	1542	0.9
水田→広葉	437	0.3
水田→針葉	1516	0.9
水田→低木	385	0.2
水田→畑地	1949	1.1
水田→牧草	1410	0.8
水田→建造	3248	1.9
水田→水域	2911	1.7
畑地→広葉	3531	2.1
畑地→針葉	5666	3.3
畑地→低木	2682	1.6
畑地→水田	4573	2.7
畑地→牧草	3600	2.1
畑地→建造	4611	2.7
畑地→水域	3484	2.0
牧草→広葉	137	0.1
牧草→針葉	366	0.2
牧草→低木	87	0.1
牧草→水田	53	0.0
牧草→畑地	439	0.3
牧草→建造	65	0.0
牧草→水域	153	0.1
建造→針葉	376	0.2
建造→広葉	153	0.1
建造→低木	86	0.1
建造→水田	1011	0.6
建造→畑地	313	0.2
建造→牧草	65	0.0
建造→水域	611	0.4
水域→広葉	13	0.0
水域→針葉	186	0.1
水域→低木	36	0.0
水域→水田	389	0.2
水域→畑地	167	0.1
水域→牧草	152	0.1
水域→建造	844	0.5
計	171436	100

例：林地→建造（林地から建造物に誤分類）

利用の経時変化が抽出できることを明らかにしている。

表5～10は、ラスタ演算の結果（図13～15）の属性テーブルからピクセル数を抜き出し、分類精度と誤分類項目の詳細を表3の分類レベルごとに示し整理したものである。この表から、レベル1の全体の精度は75%と高いが（表5）、分類項目数が増えるとレベル2では38%に減少する。さらに、レベル3の分類精度は19%にまで減少した。項目別に見ると、一番高い精度で分類出来たのは、レベル1の林地（84%）であった。一方、もっとも分類精度が悪いのはレベル3の広葉樹林（6%）となった。

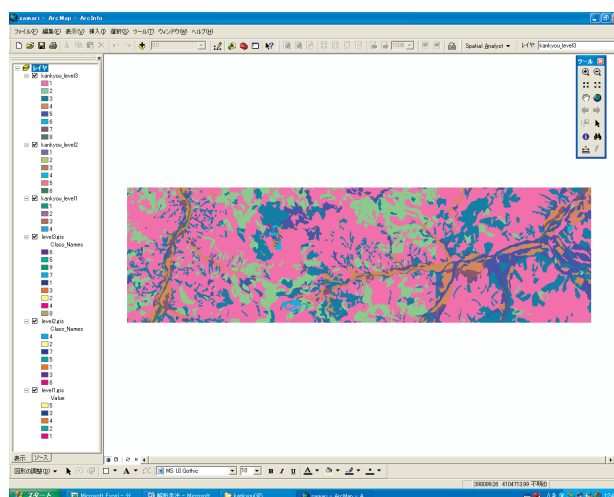


図10 分類精度の検証作業 1
分類結果と参照データの表

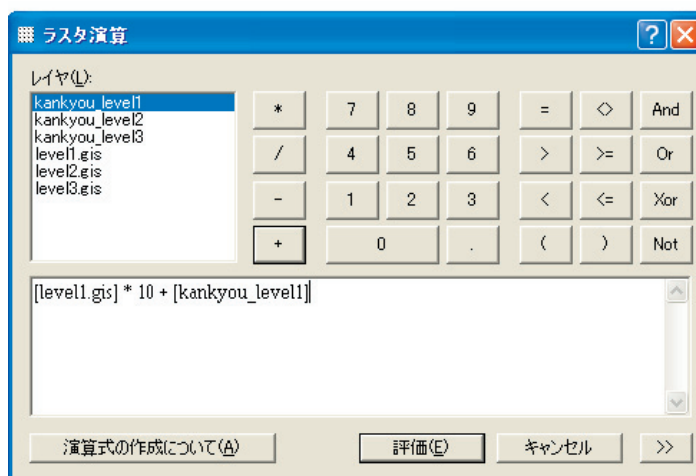


図11 分類精度の検証作業 2
分類項目を数字に置き換え

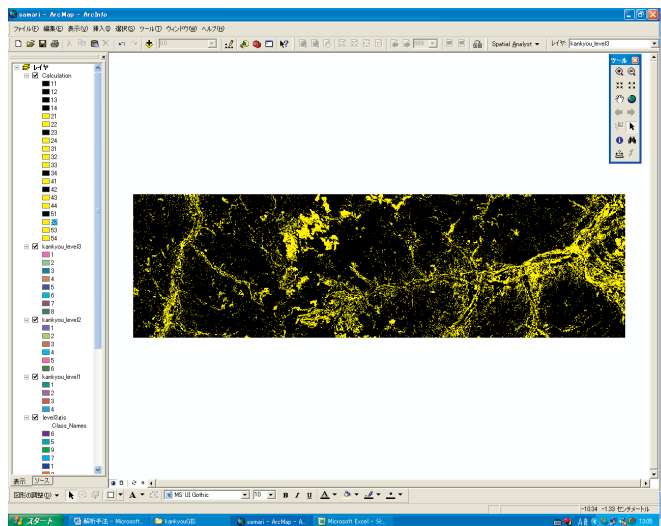


図12 分類精度の検証作業 3
黒い部分が正しく分類されたピクセルを示す

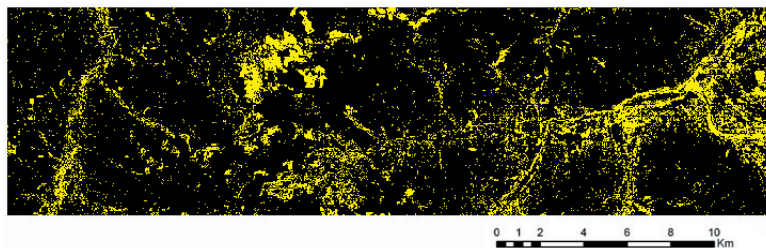


図13 レベル の分類精度
黒い部分が正しく分類されたピクセルを示す

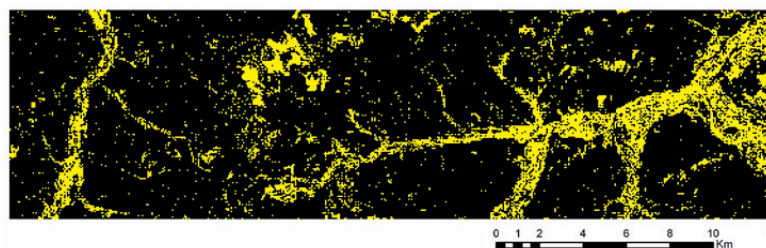


図14 レベル の分類精度
黒い部分が正しく分類されたピクセルを示す

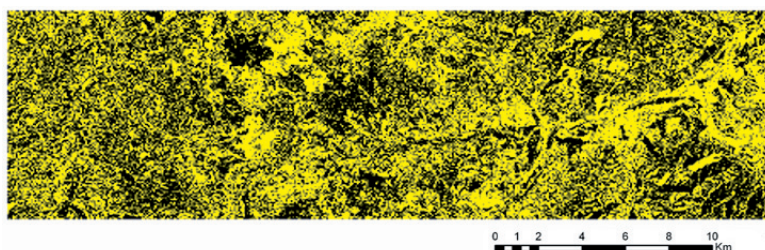


図15 レベル の分類精度
黒い部分が正しく分類されたピクセルを示す

まとめ

本稿では、学部学生を対象としたリモートセンシング教育の成果を報告した。教室での解析作業の後に野外での作業を実施し、解析作業を大学院生が手伝うというかたちをとった。ただ、第 4 章の作業は、時間的な制約のため多くを大学院生が担うというかたちをとらざるを得なかった。

また、解析に使用したデータと実際の野外調査に時間的なズレが大きかったため分光測定結果などをうまく活用できないという結果になった。ただこの問題は、野外調査に同期したデータのリクエストと購入が可能になれば解決できる。

土地被覆分類は、Landsat ETM+ データに対応した分類項目を、レベル 1 に設定し、分類精度の検証を試みた。その結果、Landsat データに対応した現実的な分類項目は、表 3 のレベル 1 程度のものが適切であることがわかった。これは従来の研究から予測できたことであるが、学生が実習を通じて理解できたことは教育効果を考えるうえで大きな意味があったといえる。

本研究で使用した機材は、平成13年度「私立大学研究設備整備等補助金；21世紀型地球観測衛星による地球環境の評価と基礎データの収集」および平成16年度「私立大学研究設備整備等補助金；デジタル三次元計測システムを使った環境変化の計測と評価」等で購入したものである。機器購入にあたり、お骨折りいただいた国土館大学および文学部をはじめとする諸機関に感謝申し上げます。

文献

ESRIジャパン (2006)：『EERDAS IMAGIN 講座 リモートセンシング・GIS解析編』，ESRIジャパン，170頁．

NASA (1998)：Landsat7 Science Data Users Handbook；

http://Landsat_handbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html

臼田裕一郎 (2002)：ラスタ解析の基礎，

<http://web.sfc.keio.ac.jp/~usuyu/edu/02/red/red4/ra1.htm>

大林成行・小島尚人 (2002)：『最新実務者のためのリモートセンシング』フジ・テクノ

システム, 967頁.

川村健介 (2004): Landsat データDNからの輝度・反射率の計算法,

http://www.geocities.jp/kensuke_kawamura/Others/LandsatCalibration/LandsatCalibration.html

環境庁自然保護局生物多様性センター (1999): 『自然環境GIS』, CD-ROM 第二版.

後藤智哉 (2003): 陸地測量部作成旧版地形図の幾何補正について - 沖縄本島 2 万 5 千分の
1 地形図を例に -, 国土館大学地理学報告, No.12,45-51.

後藤智哉 (2004): 人工林と天然林における斜面崩壊発生頻度の違い - 岐阜県恵那郡上矢作
町民有林を事例として -, 砂防学会研究発表会概要集, No.40,198-199.

後藤智哉・長谷川均・松本健 (2006): ヨルダン・ハシェミット王国における多時期地形図
を使用した遺跡ベースマップの作成, 日本国際地図学会定期発表論文・資料集, 108-
109.

後藤智哉・長谷川均 (2006): 海軍水路部作成海図による三次元海底地形の復元 - 沖縄県名
護市大浦湾辺野古を例として, 地図 (投稿中)

長谷川均 (1995): 「文学部地理学専攻学生に対するリモートセンシング教育」, 国土館大学
情報科学センター紀要, 第17号, 36-49.

長谷川均・(株) 沢瀉電子 (1996): 「文学部地理学専攻学生に対するリモートセンシング教
育と解析ソフトウェアの開発」, 日本リモートセンシング学会第20回学術講演会論文
集, 103-106.

長谷川均 (1998a): 『リモートセンシングデータ解析の基礎 The ABCs OF RS』, 古今書
院, 138頁.

長谷川均 (1998b): リモートセンシングをどう使うか, 社会科教育, No.466, 35-37.

長谷川均 (2000): 文系地理学科生のためのリモートセンシング教育, 地理学教育における
情報処理技術の活用特集, 私情協ジャーナル, Vol.18-3, 4-5.

長谷川均 (2003a): 衛星データのアーカイブを利用する, 地理, 48-3,59-67.

長谷川均 (2003b): 自然をよみ解くための道具たち 衛星画像, 自然保護, 2003年11/12, 7

長谷川均 (2003c): 国土館大学地理学教室におけるGIS教育について, 国土館大学文学部
紀要, 35号, 61-88.

長谷川均・後藤智哉 (2004): 泡瀬干潟の自然環境中間報告,

http://www.nacsj.or.jp/old_database/awase/awase-040723-houkoku2-index.html

宮脇昭編 (1987): 「日本植生誌 東北」, 至文堂, 605頁.

—
—
—